

Certaines chauves-souris qui émettent un cri de fréquence constante atteignent une telle précision dans la mesure des décalages Doppler qu'elles peuvent détecter le mouvement des ailes d'un papillon, une information intéressante pour distinguer le type de proie. C'est ce qu'a montré l'équipe de Han-Ulrich Schnitzler, de l'Université de Tübingen, en Allemagne, sur le murin à moustaches (*Pteronotus parnellii*). Les chauves-souris mobilisent alors une part significative de leurs ressources cérébrales pour mesurer les décalages Doppler. Une portion importante de leur membrane basilaire est consacrée à l'étroite bande entourant la fréquence qu'elles émettent. Cette portion de la membrane est surnommée fovéa auditive, par analogie avec la fovéa de l'œil (la partie centrale de la rétine, qui contient une grande concentration de récepteurs lumineux). Grâce à elle, la résolution spectrale est maximale autour de la fréquence émise. Notons que le mouvement des ailes peut aussi être détecté à partir des variations d'amplitude de l'écho (voir la figure 6).

La détection sonar ou radar est notablement gênée par le nuage d'échos, c'est-à-dire la réception d'échos parasites, renvoyés par des objets non ciblés. Les échos indésirables sont par exemple produits par la pluie ou par diverses surfaces. Ainsi, le même problème se pose à un radar positionné à haute altitude qui tente de détecter un avion survolant un fond urbain en rase-motte et à une chauve-souris qui traque un papillon volant près d'un buisson : les bâtiments et les feuilles renvoient une multitude d'échos complexes et perturbants. Là encore, les chauves-souris exploitent les décalages Doppler. Certaines utilisent aussi un second stratagème : elles émettent des sons par paires, chaque cri ayant une fréquence différente, ce qui leur permet de trier plus efficacement les échos et de mieux les distinguer des parasites.

Mesures et contre-mesures

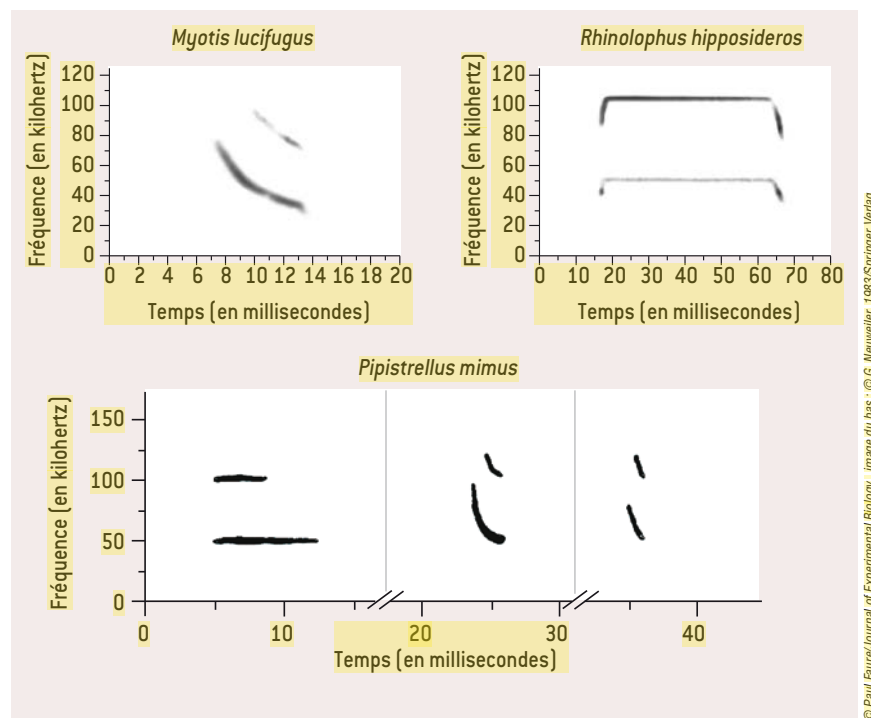
Malgré tout, certains insectes parviennent à se dissimuler dans le nuage d'échos. Les papillons de nuit *Hepialus humuli* se cachent aux chauves-souris en s'accouplant juste au-dessus de la végétation (à moins de 50 centimètres d'elle), de sorte que leur écho se fond dans ceux des feuilles et des tiges avoisinantes. De nombreux

autres insectes utilisent probablement cette stratégie de camouflage.

Chez l'homme, chaque progrès des systèmes de radar et de sonar donne lieu à des efforts pour mettre au point une contre-mesure. Les ingénieurs ont ainsi conçu des avions dits furtifs, en réduisant notablement leur « surface équivalente radar » (ou RCS, pour *radar cross section*) : ce paramètre, exprimé en mètres carrés, quantifie la propension d'un objet à renvoyer le rayonnement électromagnétique vers le radar, et mesure donc sa détectabilité. Selon certaines rumeurs, les bombardiers furtifs B-2 auraient une RCS de la taille d'un timbre postal. Elle aurait été obtenue en cachant les réacteurs et les gouvernes à l'intérieur des ailes, en accentuant les angles des composants qui dévient les ondes radar hors du champ des récepteurs et en utilisant des matériaux composites et des peintures qui absorbent les ondes incidentes ou atténuent leur réflexion.

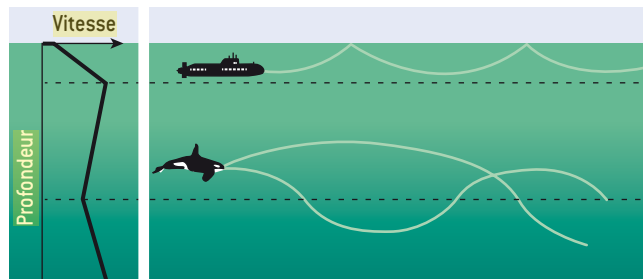
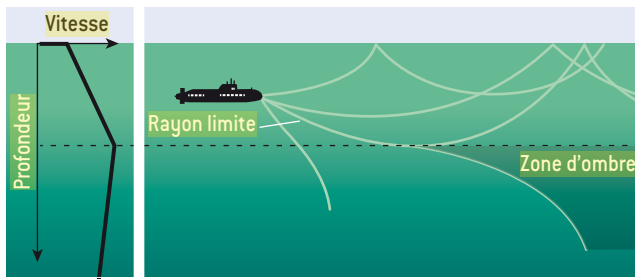
Les insectes sont aussi lancés dans une course à la furtivité. Certains, appréciés des chauves-souris, atténuent l'écho qu'ils produisent. En 2011, Jinyao Zeng et ses collègues de l'Université normale de la Chine de l'Est, à Shanghai, ont suggéré

Les écailles qui recouvrent les ailes des papillons de nuit absorbent les cris des chauves-souris, diminuant ainsi l'amplitude des échos renvoyés et compliquant la détection.



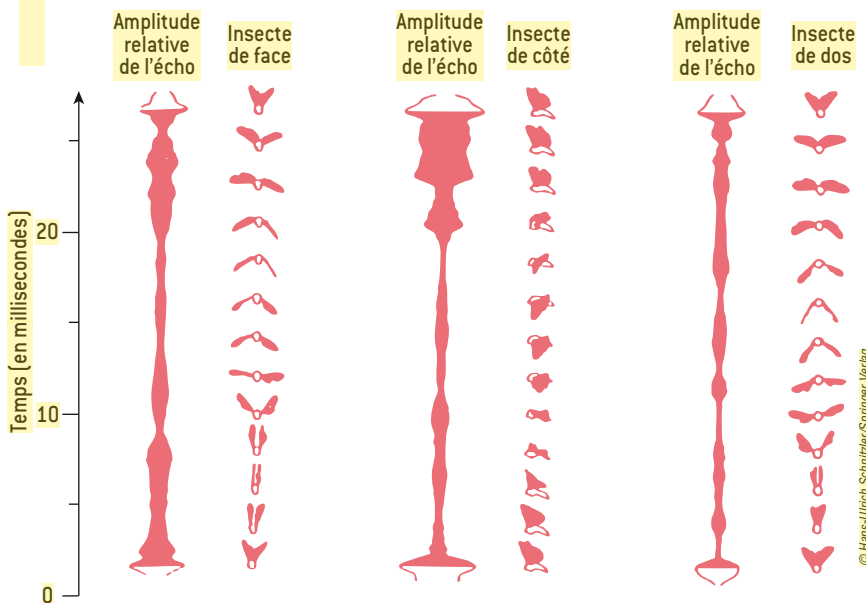
4. LA FRÉQUENCE DU CRI varie chez certaines chauves-souris, dites à modulation de fréquence (*spectrogramme en haut à gauche*), tandis qu'elle reste constante chez d'autres espèces (*en haut à droite*). Une fréquence constante permet de mieux déterminer la vitesse de la proie, mais un balayage de fréquences améliore la résolution. Certaines chauves-souris sont capables de passer d'un mode à l'autre selon les besoins (*en bas*).

© Paul Faure/Journal of Experimental Biology - image du bas : © G. Neuweller, 1993/Springer Verlag



5. LA VITESSE DU SON DANS L'Océan varie en fonction de la profondeur. Par conséquent, les ondes acoustiques sont focalisées dans des canaux naturels. Celles émises par un sous-marin se courbent vers la surface et se propagent sur de longues distances via une succession de rebonds [à gauche]. Cependant, pour les

ondes qui plongent en dessous d'un rayon limite, la courbure s'inverse à partir d'une certaine profondeur, ce qui crée une zone d'ombre où aucun signal ne pénètre. Un mammifère marin nageant à plus grande profondeur peut envoyer ses cris dans un autre canal, nommé SOFAR, dont la profondeur varie avec la latitude [à droite].



6. L'AMPLITUDE DE L'ÉCHO RENVOYÉ PAR UN INSECTE varie suffisamment au cours de son battement d'ailes pour que certaines chauves-souris détectent ces changements, ce qui leur permet de déterminer le type de proie. L'écho capté dépend aussi de l'orientation de l'insecte par rapport au prédateur ou au dispositif d'enregistrement.

que les écailles recouvrant les ailes des papillons de nuit absorbent les cris des chauves-souris, diminuant ainsi l'amplitude des échos renvoyés et compliquant la détection. Ces écailles font plus que doubler le coefficient d'absorption des ailes pour les fréquences comprises entre 40 et 60 kilohertz, ce qui se traduit par une baisse d'intensité de l'écho allant jusqu'à deux décibels. Les mécanismes d'absorption du son restent à préciser, mais ils pourraient être voisins de ceux des matériaux antibruit fabriqués par l'homme : les écailles sont souvent séparées par des espaces et recouvertes de micropores et de lacunes (des espaces oblongs) ressemblant à ceux des matériaux artificiels. Les éthologistes commencent juste à mettre en évidence ces cas de furtivité

naturelle, où les proies se dissimulent à l'écholocation des prédateurs, et de nombreux autres exemples restent probablement à découvrir.

Outre la furtivité, une autre façon d'échapper aux sonars et aux radars consiste à interférer avec la réception ou le traitement des échos, autrement dit à utiliser des techniques de brouillage. Aux débuts de ces dispositifs de détection, deux organisations en particulier se sont illustrées dans cette guerre électronique : les *Skunk Works*, de l'entreprise *Lockheed Martin*, et une organisation internationale à but non lucratif nommée *Association of old crows* (en référence aux équipes radar alliées de la Seconde Guerre mondiale, qui portaient le nom de code *Raven*, *crow* et *raven* signifiant tous deux « corbeau » en anglais). Ces

deux groupes ont développé des contre-mesures électroniques et des « contre-contre-mesures » pour des applications militaires.

Les méthodes de brouillage peuvent être soit passives soit actives. Les méthodes passives incluent les leurres, des matériaux (tels de fines bandes d'aluminium ou des fibres de verre métallisées) largués par un appareil afin de masquer sa position précise et ses mouvements aux radars ennemis. Les méthodes actives consistent à envoyer des signaux électroniques pour aveugler ou tromper le radar. Ainsi, les brouilleurs dits à bruit submergent le récepteur radar de bruit électronique, ce qui complique la détection de l'écho relativement faible de la cible. Les brouilleurs-répéteurs fournissent une copie de l'écho réel, mais dans un délai fictif, ce qui conduit le récepteur à détecter un objet fantôme allant dans la mauvaise direction. Le brouillage actif est à double tranchant, car le brouilleur risque de livrer un signal à un récepteur radar qui n'avait rien détecté.

Les insectes, experts en brouillage

De telles techniques pourraient sembler hors de portée des insectes, mais leur course aux armements avec les chauves-souris dure depuis 65 millions d'années, assez longtemps pour que prédateurs et proies développent des mesures et contre-mesures élaborées. Des chercheurs de mon laboratoire ont découvert que les papillons de nuit tigres équatoriens du genre *Bertholdia* (de la famille des *Erebidae*) produisent une cacophonie de clics quand ils sont ciblés par une chauve-souris pratiquant l'écholocation. Les insectes détectent les signaux sonar du prédateur en approche grâce à leur appareil auditif sensible aux